

УДК 552.143

СЕДИМЕНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕРХНЕЮРСКИХ ПРОДУКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КРАПИВИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ КЕРНА

Г.Г. Кравченко, Е.А. Жуковская

ОАО «ТомскНИПИнефть», г. Томск
E-mail: KravchenkoGG@nipineft.tomsk.ru

Отражены результаты седиментологических исследований верхнеюрских отложений по керну скважин Крапивинского месторождения Томской области. Существенно детализировано и уточнено строение продуктивных пластов Ю₁² и Ю₁³, установлена фациальная однородность отложений под-, меж- и надугольной толщ в пределах месторождения. Построены фациальные карты, карты мощностей, блок-диаграммы, иллюстрирующие историю геологического развития. Сделан прогноз распространения перспективных коллекторов на неохваченных разведочным бурением участках Крапивинского месторождения.

Ключевые слова:

Мелководно-морские и прибрежно-морские фации, обстановки пляжа, барьерное побережье, ихнофоссилии.

Key words:

Shallow-marine and nearshore facies, beaches environment, barrier coasts, ichnofossils.

Первые скважины, заложенные согласно антиклинальной теории в наиболее приподнятой присводовой части Крапивинской структуры и пробуренные в 1969 г., оказались низкодебитными, с непромышленными притоками нефти с водой. После возобновления в 1984 г. разведочного бурения было установлено, что верхнеюрский резервуар на Крапивинском месторождении имеет сложное строение. В результате проведенных в 1988–1991 гг. под руководством И.А. Иванова исследований был сделан вывод о формировании улучшенных пород-коллекторов в процессе седиментогенеза в мелководно- и прибрежно-морской обстановке. Г.Н. Перозо также отводила первоочередное значение в формировании коллекторских свойств условиям седиментации. Предложенная Н.В. Коптяевым в 1989 г. модель наклонного водо-нефтяного контакта не объясняла причин появления песчаников с высокими коллекторскими свойствами. В тектонически-экранированной модели В.С. Славкина происхождение улучшенных пород-коллекторов связывается только с седиментационным процессом. Аналогичной точки зрения придерживается и В.Б. Белозёров, связывающий неоднородность резервуара Ю₁³ с особенностями строения дельтового комплекса.

По нашему мнению, предыдущими исследователями Крапивинского месторождения накопленный по месторождению представительный керновый материал не использовался для фациальных реконструкций в полной мере, что неизбежно приводило к неточностям в построении седиментологических моделей месторождения. Проведённые авторами исследования призваны восполнить этот пробел.

С целью выявления особенностей формирования подугольной толщи верхневасюганской свиты Крапивинского месторождения были проведены фациальные исследования. Акцент в изучении именно подугольной толщи был сделан по причине вхождения её в состав наиболее продуктивного

пласта Ю₁³, являющегося первоочередным объектом разработки на Крапивинском месторождении. В задачи исследований входило детальное изучение всего имеющегося в кернохранилище института кондиционного кернового материала и определение его фациальной принадлежности. Был проведен фациальный анализ около 1000 м керна, из которого более половины – продольно распиленного. Район исследований был расширен за счет скважин близлежащих Тагайского месторождения и Западно-Моисеевской площади Двуреченского месторождения. Методика проведения фациального анализа является стандартной и детально освещена как в отечественной, так и в зарубежной литературе [1–3].

В результате проведенных работ установлено, что на Крапивинском месторождении верхнеюрские отложения представлены комплексом мелководно- и прибрежно-морских фаций барьерного побережья, сформированных под воздействием волновой и приливно-отливной деятельности. Принятая в данном исследовании схема мелководно- и прибрежно-морских обстановок, рис. 1, составлена по работам Л.Н. Ботвинкиной, М.Р. Лидера, Х. Рединга, Г.-Э. Рейнека и И.Б. Сингха [4–6]. Согласно этой схеме среди мелководно-морских обстановок выделяются фации дальней, переходной и предфронтальной зон пляжа и собственно пляж (нижний и верхний), а также эоловые дюны. Пространственно с мелководно-морскими связаны отложения, условно названные осадками мутьевых потоков. В составе прибрежно-морских фаций, слагающих межугольную толщу, выделяются приливно-отливные отмели, марши, приморские болота и достоверно не идентифицированные на Крапивинском месторождении приливно-отливные каналы и дельты.

Мелководно-морские фации слагают на месторождении основной продуктивный пласт Ю₁³, поэтому ниже им дается краткая характеристика.



Рис. 1. Концептуальная фациальная схема образования келловей-оксфордских отложений Крапивинской площади

Отложения дальней зоны пляжа формируются ниже уровня штормовых волн и представлены градиционно-слоистым переслаиванием пород от аргиллитов до алевролитов и тонкозернистых песчанников.

Фация переходной зоны пляжа обычно представлена чередованием глинисто-алевритовых и песчаных прослоев, отлагавшихся между базисом слабых и штормовых волн, т. е. в периоды спокойной погоды и в периоды штормов и волнений соответственно. Для песчаных отложений характерна бугорчатая слоистость ряби волнения. Отложения могут быть сильно биотурбированы. Биотурбация представлена следами жизнедеятельности ихнофагии *Cruziana*, среди которых преобладают *Chondrites*.

Предфронтальная зона пляжа (береговой склон) располагается между базисом спокойных волн и средним уровнем низкой воды. В спокойную погоду в нижней части действуют процессы, связанные с колебательными и набегающими волнами, в верхней части — процессы зоны бурунов и прибоя. В направлении к суше в предфронтальной зоне наблюдается постепенное увеличение размера зерен и уменьшение биотурбации осадка. Фации нижней части предфронтальной зоны представлены переслаиванием алевролитов и песков, что отражает чередование спокойных и штормовых условий.

На Крапивинском месторождении для отложений предфронтальной зоны пляжа, представлен-

ных преимущественно мелкозернистыми песчаниками, характерна косая разнонаправленная слоистость ряби волнения, а также волнистая, косоволнистая и горизонтальная слоистость. Интенсивность биотурбации меняется в направлении к суше от умеренной на границе с переходной зоной пляжа до слабой вплоть до ее полного исчезновения на границе с нижним пляжем, рис. 2, 3. В верхней части предфронтальной зоны пляжа встречаются следы биотурбации ихнофагии *Skolithos* (*Skolithos*, *Palaephycus*, *Arenicolites*, *Monocraterion*), в нижней части — ихнофагии *Cruziana* (*Planolites*).

Отложения пляжа представлены песчаными осадками, из всех отложений мелководья и прибрежно-морской зоны являющихся наиболее крупнозернистыми. По результатам исследования шлифов Крапивинской площади это средне-мелкозернистые хорошо сортированные граувакковые аркозы, содержащие небольшое количество глинистого цемента. Отложения нижнего пляжа располагаются выше среднего уровня низкой воды, верхнего пляжа — в зоне заплеска штормовых волн. Для отложений нижнего пляжа характерна горизонтальная, косая разнонаправленная, волнистая и косоволнистая слоистость ряби волнения. Слоистость обычно прерывистая и выражена нечетко, подчеркнута намывами тонкого углефицированного растительного детрита (УРД), рис. 4. Слюда в намывах практически отсутствует, что свидетельствует о высокой волновой активности. О близости береговой линии и, возможно,

периодическом осушении, свидетельствуют тонкие угольные прослои, намывы крупного УРД, иногда остатки корневых систем растений, рис. 3. Пески верхнего пляжа часто подвергаются эоловому воздействию, что является причиной их плохой сохранности. При выходе пляжей на поверхность происходит их осушение и зарастание, что, по-видимому, приводит к исчезновению слоистости и возникновению практически однородной текстуры осадков.



Рис. 2. Песчаник мелкозернистый с пятнистым нефтенасыщением со следами биотурбации *Palaeorhynchus*, *Skololithos*. Фация верхней части предфронтальной зоны пляжа. Скви. 230Р. Пласт Ю₁³. Гл. 2694,05 м



Рис. 3. Переслаивание песчаника тонко-мелкозернистого косослойчатого и аргиллита алевролитистого. Нижние границы песчаных прослоев эрозионные. Встречаются редкие глинистые интракласты и обломки УРД. Фация нижней части предфронтальной зоны пляжа. Скви. 230Р. Пласт Ю₁³. Гл. 2705,00 м

На Крапивинской площади в нижней половине пласта Ю₁³ встречаются отложения, представленные выдержанными по зернистости прослоями мелко-тонкозернистых песчаников мощностью от первых сантиметров до метра и, иногда, более. Песчаники однородные или с субгоризонтальной и/или градиционной слоистостью, подчеркнутой обильными намывами УРД, с частыми включениями глинистых и сидеритовых интракластов, рис. 5. Нижние поверхности прослоев песчаников обычно эрозионные. В целом их строение имеет много общего со строением турбидитов и осадков конусов выноса, формирующих аккумулятивные конусы в подошве склонов субаквальных частей дельты. В данной работе эти отложения условно именуются осадками мутьевых потоков. На Крапивинской площади они встречаются совместно с отложениями нижней части предфронтальной зоны пляжа. Происхождение их достоверно не установлено, поэтому отнесение их к мелководноморским фациям является во многом условным. Наиболее вероятным представляется образование осадков мутьевых потоков в результате катастрофических приливов и связанных с ними отливов, цунами или действия флювиальных потоков во время паводков.

По результатам изучения керна процесс осадконакопления верхнеюрских отложений на Крапивинском месторождении представлен на рис. 6. Разрез подугольной толщи начинается заметным увеличением толщины прослоев тонкозернистых песчаников по сравнению с равномерным нижневасюганским переслаиванием песчаных алевролитов и аргиллитов, где толщина их прослоев составляет 1...2 см. Вверх по разрезу практически всех скважин наблюдается закономерное увеличение зернистости песчаников и уменьшение алевроитовой примеси, сокращается толщина и частота встречаемости алевроито-глинистых прослоев, постепенно исчезают следы ихнофоссилий *Chondrites*, являющиеся индикатором обстановок с дефицитом кислорода. Все это указывает на увеличение скорости осадконакопления, улучшение аэрации воды, вероятно, за счёт плавного понижения уровня моря (регрессии). Об этом свидетельствует закономерная смена фаций дальней и переходной зон пляжа, составляющих нижневасюганскую толщу, фациями нижней части предфронтальной зоны пляжа, слагающими низы подугольной толщи и представляющими собой подошвенные части формирующихся баровых тел.

Практически повсеместно в нижних частях подугольной толщи встречаются глинисто-алевровитовые пропластки (ГАП) мощностью обычно до 1 м, реже до 2,2 м – в Тагайской-11Р, интерпретируемые как результат кратковременных повышений уровня моря и формирования осадков фации дальнего пляжа. В центральной части района прослеживается вытянутая в северо-восточном направлении зона, где ГАП полностью или почти полностью раз-

мыты, что может указывать на возможные изменения структурного плана, например, воздыманию центральной части Крапивинской структуры на величину около 2 м.

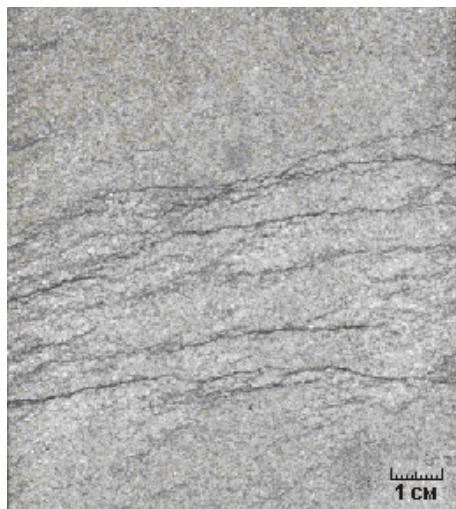


Рис. 4. Косая разнонаправленная слойчатость ряби волнения в мелкозернистом песчанике. Фация нижнего пляжа. Скв. 462 к.9. Пласт Ю₁³. Гл. 2722,55 м

объединены в группу фаций Ф3, рис. 7, а. Распределение отложений группы фаций Ф3 по площади характеризуется наличием локальных максимумов толщин со значениями около 10 м в районе скважин 203Р и 102 к.2-205Р и общим увеличением толщин в южной части района исследования до 12 м и более.

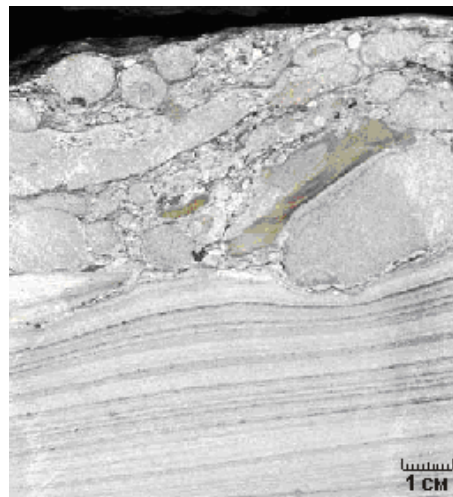


Рис. 5. Прослой из окатанных глинистых интраклавов, эродирующий песчаник с бугорчатой слойчатостью. Фация нижней части предфронтальной зоны пляжа – осадков мутьевых потоков. Скв. 229Р. Пласт Ю₁³. Гл. 2726,00 м

Осадки нижней части предфронтальной зоны пляжа и мутьевых потоков, совместно с ГАП были

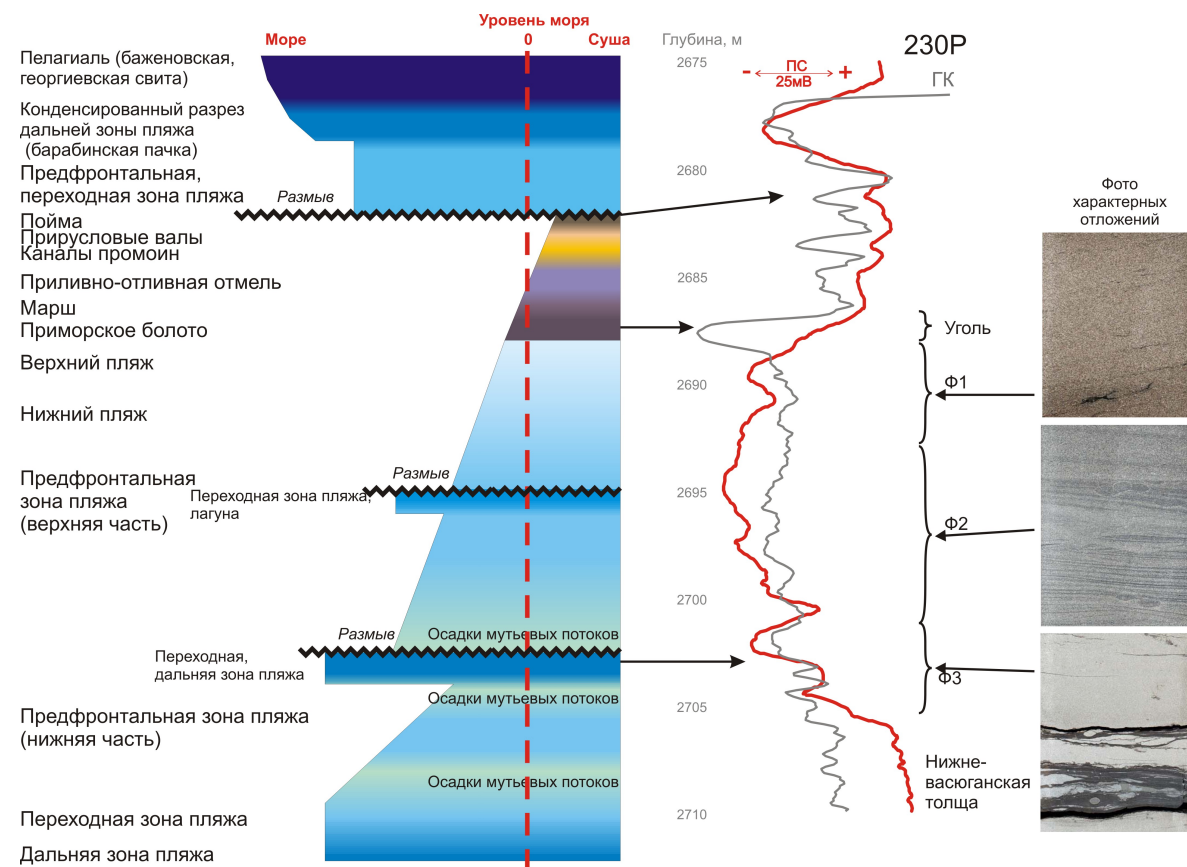


Рис. 6. Схема геологического развития верхнеюрских отложений

Последующее продолжение обмеления моря нашло отражение в исчезновении выше по разрезу глинистых слоев и фаций мутьевых потоков, увеличении зернистости песчаников от тонкой до мелкой, смене их фации *Cruziana* на *Skolithos*, что характерно для перехода территории в верхнюю предфронтальную зону пляжа. Образование таких песчаников происходило при более высокой волновой активности, возможно, с участием донных течений, в обстановке постоянного воздействия волн. Вероятная обстановка накопления таких песчаников — боковые части баровых тел. В ряде скважин (206Р, 224Р, 225Р, 156 к.4) отмечаются мало мощные ГАП, свидетельствующие о повторных кратковременных увеличениях глубины моря или изоляции участков морского дна вследствие миграции баров. Они вместе с осадками верхней части предфронтальной зоны пляжа объединены в группу фаций Ф2. В пропластках группы фаций Ф2, в

отличие от таковых из группы фаций Ф3, почти не встречаются следы *Chondrites* и градиционная слоистость, указывающая на значительную глубину бассейна; больше содержится углистой примеси. Эти признаки указывают на меньшие глубины формирования ГАП, по сравнению с пропластками из группы фаций Ф3. Вероятная обстановка образования пропластков группы фаций Ф2 — частично или полностью изолированные от волновой деятельности участки «шельфа», с условиями осадконакопления во многом подобными лагунным. В распределении толщин отложений группы фаций Ф2 отмечается их постепенное увеличение от 2 м в северо-восточной части района исследований до 10...11 м на западе, рис. 7, б. На фоне этой закономерности на карте толщин в местах с повышенной изученностью бурением выделяются мелкие локальные неоднородности с разницей в толщинах от 5 до 8 м в пределах участков размерами 1...3 км.

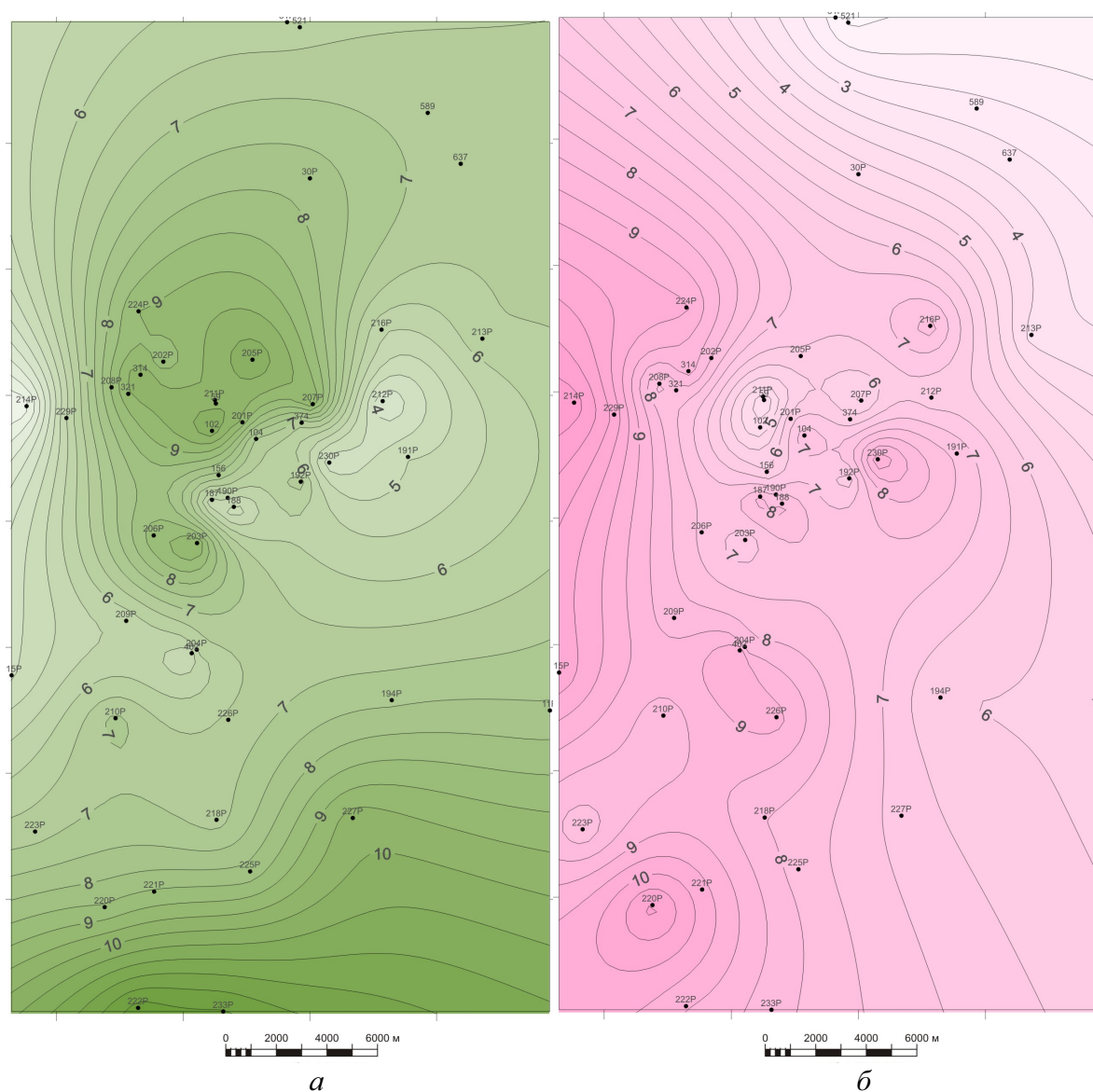


Рис. 7. Карты-схемы толщин отложений группы фаций Ф3 (а) и Ф2 (б)

В кровле подугольной толщи находится группа фаций Ф1, в которую входят фации нижнего и верхнего пляжа. Они обладают лучшими коллекторскими свойствами, т. к. представлены наиболее крупнозернистыми и хорошо сортированными разностями с повышенным содержанием кварца и пониженным содержанием обломков пород. В песчаниках пляжа содержится незначительное количество глинистых и углистых намывов по сравнению с фациями предфронтальной зоны пляжа. Также в пляжевых песчаниках группы фаций Ф1 практически отсутствует биотурбация донными животными, а растительная биотурбация распространена ограниченно и отмечается только в прикровельной части. Мощности отложений группы фаций Ф1 также постепенно увеличиваются в западном направлении от 3 в районе скважин 212Р и 213Р до 10 м близ скважин 229Р и 208Р, рис. 8, а. В северо-

западной части месторождения находится локальный минимум (2 м) толщин группы фаций Ф1, подтвержденный керном только одной скв. 224Р. В местах более плотной сетки скважин изменчивость толщин Ф1 заметно увеличивается, что косвенно указывает на размер баровых тел порядка 2...3 км.

Наличие в разрезе подугольной толщи двух (предположительно, верхний в большинстве скважин размыт) ГАП указывает на существование как минимум двух этапов кратковременных повышений уровня моря (трансгрессий), происходивших на общем фоне постепенного уменьшения уровня моря (регрессии) либо формирования отложений забаровых лагун.

На карте толщин суммарной мощности отложений групп фаций Ф1, Ф2 и Ф3 (рис. 8, б), составляющих песчаный пласт Ю₁³, наблюдается посте-

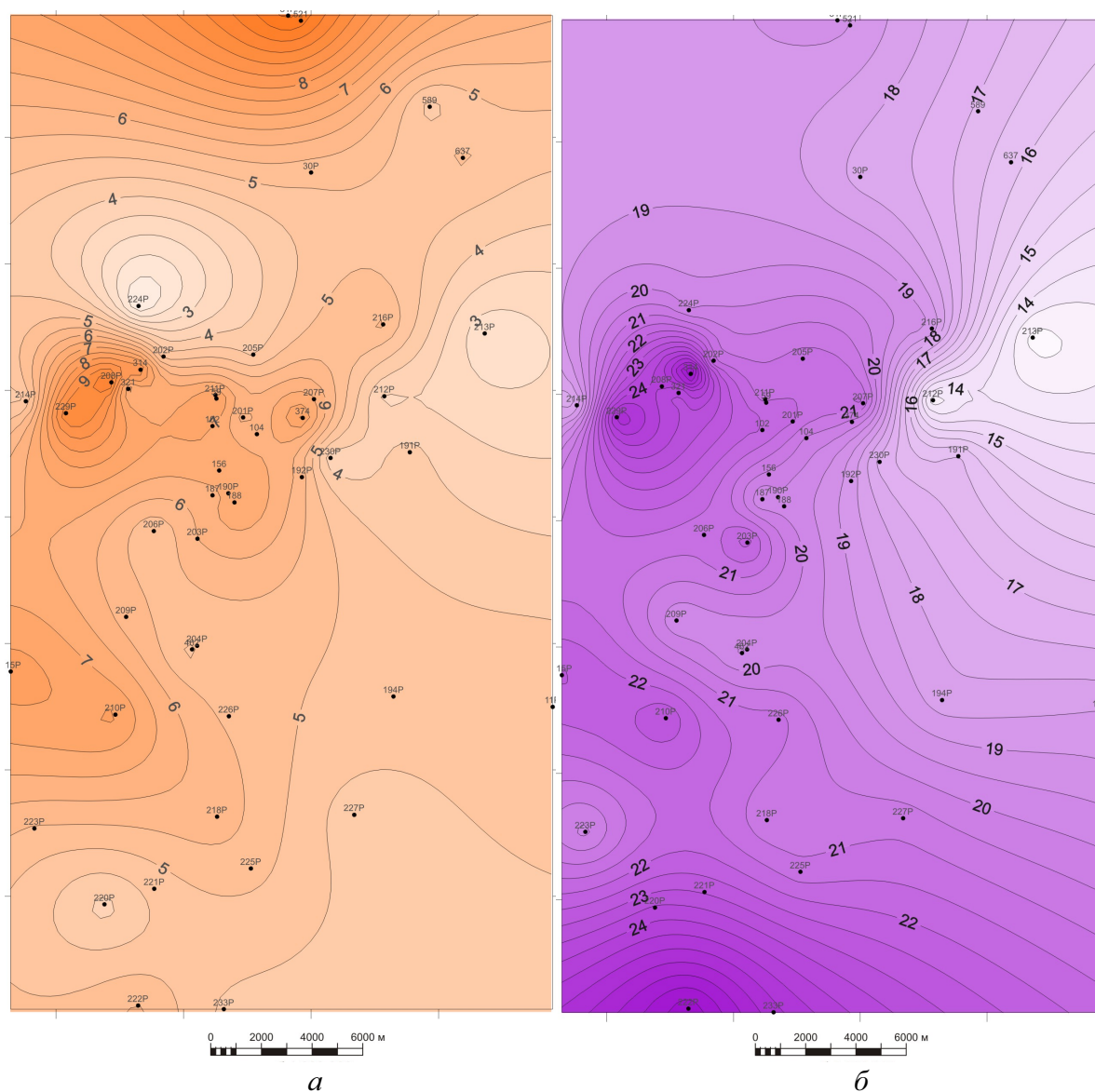


Рис. 8. Карты-схемы толщин отложений группы фаций Ф1 (а) и суммарных толщин отложений групп фаций Ф1, Ф2 и Ф3 (б)

пенное их увеличение в западном направлении. Мощность пласта Ю₁³ варьирует от 13 м на северо-востоке (скв. 213Р) до 25 м на северо-западе (скв. 229Р) и 27 м на юго-западе (скв. 222Р) территории исследования. Это указывает на существование в момент начала формирования подугольной толщи слабого уклона дна морского бассейна в западном и юго-западном направлении. Анализ толщин углей, перекрывающих подугольную толщу, свидетельствует о происшедшей во время формирования пласта Ю₁³ перестройке рельефа морского дна. В результате возник протянувшийся в северо-восточном направлении вал (бар), затрагивающий северо-западный край Крапивинской структуры. На юге и юго-западе от этого вала существовало приморское болото, в котором накапливались угли мощностью до 4 м. По другую сторону вала находилась пологая приливно-отливная отмель, заливаемая морем с севера и северо-запада.

Образование отложений надугольной толщи связано с быстрой трансгрессией, возможно, приведшей к частичному размыву межугольной толщи. Накопление песчаников продуктивного пласта Ю₁² происходило на очень пологом морском дне, обстановка на котором соответствовала барам и лагунам разной степени изолированности.

В результате исследования фациальных условий формирования подугольной толщи Крапивинского месторождения установлено, что в целом по месторождению она имеет достаточно простое строение. Отмечается регрессивный комплекс мелко-водно-морских фаций от дальней и переходной зон пляжа до нижнего и верхнего пляжа со следами частичного осушения в верхней части толщи. Далее вверх по разрезу продолжается закономерная регрессивная последовательность от фаций пляжа к фациям приливно-отливной отмели, марша и приморского болота, составляющих межугольную тол-

щю. Особенности строения подугольной толщи заключаются в постепенном увеличении с востока на запад мощностей до 2...3 раз всех выделенных в ней групп фаций и наличии многих мелких максимумов и минимумов на картах толщин. Размеры этих максимумов и минимумов составляют 2 на 2 км и более, и, по-видимому, их возникновение обусловлено локальными особенностями палеорельефа морского дна. Отсутствие принципиальных различий верхневасюганских разрезов скважин всего Крапивинского месторождения указывает на существование здесь в верхнеюрское время очень пологого барьерного побережья с предполагаемыми перепадами высот не более первых метров.

Выводы

В результате детального изучения кернового материала скважин Крапивинского месторождения Томской области предложена его концептуальная седиментологическая модель подугольной толщи — комплекс отложений баровых тел, сформированных в условиях барьерного побережья. Отложения обладают существенным сходством текстурно-структурных признаков как по разрезу, так и по laterали. Установленные отличия заключаются в незначительных локальных колебаниях мощностей отложений при общей тенденции их увеличения к западу и юго-западу месторождения. Наблюдаемые на месторождении в ряде скважин существенные различия в фильтрационно-емкостных свойствах верхнеюрских песчаников не объясняются только обстановкой осадконакопления.

Предложенная концептуальная модель явилась основой фациальной модели, которая была использована при геологическом моделировании.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 09-05-99036р-офи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.П. Атлас фаций юрских терригенных отложений (угленосные толщи Евразии). — Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. — 209 с.
2. Ежова А.В. Литология. — Томск: Изд-во ТПУ, 2005. — 353 с.
3. Обстановки осадконакопления и фации: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. / под ред. Х. Рединга. — М.: Мир, 1990. — 352 с.
4. Ботвинкина Л.Н. Методическое руководство по изучению слоистости // Труды геологического ин-та АН СССР. — М.: Наука, 1965. — Вып. 119. — 260 с.
5. Лидер М.Р. Седиментология. Процессы и продукты: пер. с англ. — М.: Мир, 1986. — 439 с., с ил.
6. Рейнек Г.-Э., Сингх И.Б. Обстановки терригенного осадконакопления. — М.: Недра, 1981. — 439 с.

Поступила 26.10.2009 г.